

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①① N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 629 197

②① N° d'enregistrement national :

88 03875

⑤① Int Cl¹ : G 01 B 9/02, 11/14.

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 24 mars 1988.

③① Priorité :

④③ Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOP « Brevets » n° 39 du 29 septembre 1989.

⑥① Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦① Demandeur(s) : Société anonyme dite : ATELIERS
MAITRE. — FR.

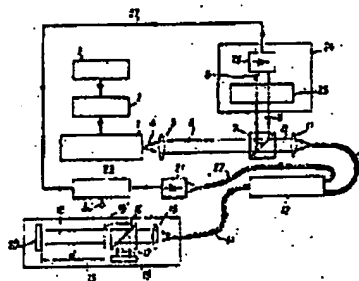
⑦② Inventeur(s) : Roger Desailly ; Serge Maneuf.

⑦③ Titulaire(s) :

⑦④ Mandataire(s) : Propri Conseils.

⑤④ Procédé et dispositif pour mesurer la distance d'un objet au moyen d'un faisceau laser.

⑤⑦ Procédé et dispositif pour la mesure de la distance d'un
objet par faisceau laser et formation d'une onde de battement.
Selon l'invention, on adresse ledit faisceau laser modulé en
fréquence à un dispositif étalon de fréquence 24 qui définit
avec précision un intervalle de fréquence et, pour le calcul de
ladite distance, on utilise la variation de fréquence du faisceau
laser correspondant audit intervalle et le nombre des oscilla-
tions de battement engendrées lorsque la fréquence du fais-
ceau laser décrit ledit intervalle.



FR 2 629 197 - A1

La présente invention concerne un procédé et un dispositif pour mesurer la distance d'un objet au moyen d'un faisceau laser.

On connaît déjà une technique de mesure de la distance d'un objet selon laquelle on éclaire simultanément, par un faisceau laser dont la fréquence est modulée, ledit objet et un réflecteur fixe et on superpose les deux faisceaux respectivement réfléchis par ledit objet et par ledit réflecteur. Il en résulte donc une onde de battement permettant la détermination de la distance recherchée.

Une telle technique de mesure est par exemple décrite dans l'article "PRECISION TIME DOMAIN REFLECTOMETRY IN OPTICAL FIBER SYSTEMS USING A FREQUENCY MODULATED CONTINUOUS WAVE RANGING TECHNIQUE" de DEEPAK UTTAM et BRIAN CULSHAW, paru dans la revue JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, Volume LT3, N° 5. d'Octobre 1985, ainsi que dans l'article "INTERFEROMETER FOR MEASURING DISPLACEMENT AND DISTANCE" de TOSHIHIRO KUBOTA, MAKOTO NARA et TOSHIHIKO YOSHINO, paru dans la revue OPTICS LETTERS, Volume 12, N° 5. de Mai 1987.

Dans cette technique connue, pour déterminer la fréquence de l'onde de battement (et donc la distance recherchée), il faut connaître avec précision la largeur de la plage de fréquence balayée par le laser. Or, on sait que la fréquence émise par les générateurs laser est soumise à fluctuations en fonction de la température.

Ainsi, à cause des variations de température, les résultats de mesure de distance fournis par la technique connue décrite ci-dessus sont entachés d'erreurs importantes.

5 Pour tenter de s'affranchir des variations de l'écart en fréquence balayé par le laser, la demande de brevet français FR-A-2 579 766 propose d'utiliser une onde de battement de référence.

10 La présente invention a pour objet de perfectionner la technique connue, décrite par les deux articles ci-dessus, afin d'éviter, par des moyens différents de ceux indiqués par le document FR-A-2 579 766, qu'un écart en fréquence du laser introduise une erreur dans la mesure de distance.

15 A cette fin, selon l'invention, le procédé pour la mesure de la distance d'un objet, selon lequel on éclaire simultanément ledit objet et un réflecteur fixe au moyen d'un faisceau laser modulé en fréquence et on superpose les faisceaux laser renvoyés par ledit objet et ledit
20 réflecteur fixe afin d'engendrer une onde de battement dont on compte les oscillations pour une variation déterminée de la fréquence dudit faisceau laser, après quoi on calcule ladite distance à partir du nombre desdites oscillations de battement et de ladite variation de fréquence, est remarquable en ce que l'on adresse ledit
25 faisceau laser modulé en fréquence à un dispositif étalon de fréquence qui définit avec précision un intervalle de

fréquence et en ce que, pour le calcul de ladite distance, on utilise la variation de fréquence du faisceau laser correspondant audit intervalle et le nombre des oscillations de battement engendrées lorsque la fréquence du faisceau laser décrit ledit intervalle.

5 Ainsi, puisque le calcul de la distance prend en compte un intervalle de fréquence déterminé par ledit étalon de fréquence, on s'affranchit des fluctuations de fréquence incontrôlées du faisceau laser, dues au générateur du faisceau laser et on connaît avec précision
10 l'excursion de fréquence du laser durant la mesure. La précision de la mesure de la distance est alors directement fixée par la précision (excellente) du comptage du nombre des oscillations de battement.

15 La présente invention concerne de plus un dispositif pour la mise en oeuvre du procédé. Un tel dispositif comporte, de façon connue, un générateur de faisceau laser modulé en fréquence, des moyens pour éclairer simultanément ledit objet et un réflecteur fixe par ledit faisceau
20 laser modulé en fréquence, des moyens pour superposer les faisceaux laser renvoyés par ledit objet et ledit réflecteur fixe et pour engendrer une onde de battement et des moyens de comptage des oscillations de ladite onde de battement. Selon l'invention, ce dispositif est alors
25 remarquable en ce qu'il comporte un dispositif étalon de fréquence et en ce que lesdits moyens de comptage des oscillations de l'onde de battement sont commandés par

le signal issu du dispositif étalon.

Ledit dispositif étalon de fréquence est constitué par un étalon de fréquence proprement dit (FABRY-PEROT classique ou à fibres optiques, association de filtres
5 interférentiels, élément chimique possédant des raies de transparence ou d'absorption, système source d'effet opto-galvanique, etc...) et d'un système de mise en forme des signaux délivrés par l'étalon, qui fournit un signal électrique capable de commander lesdits moyens de comp-
10 te durant la variation de la fréquence du laser sur ledit intervalle de fréquence fixé par l'étalon.

Lesdits moyens de comptage peuvent être constitués par un fréquencesmètre commandable. Toutefois, selon un mode de réalisation avantageux qui sera décrit ci-après,
15 ils peuvent être formés par une association de générateurs de top et de compteurs.

Le générateur de faisceau laser modulé comporte une source qui doit être capable de délivrer une fréquence variable. Avantageusement, mais non obligatoirement,
20 cette source peut être un laser à semi-conducteur. Cette source laser peut présenter un large spectre, à l'intérieur duquel un système spectroscopique sélectionne une fréquence que l'on peut faire varier.

De préférence, le transport du faisceau laser à l'in-
25 térieur du dispositif est réalisé par l'intermédiaire de fibres optiques. Ainsi, le dispositif peut être constitué d'unités séparées reliées par lesdites fibres optiques.

Par exemple, on peut prévoir une unité de mesure comportant ledit réflecteur fixe et disposée au voisinage de l'objet dont on veut mesurer la distance, reliée au reste du dispositif comportant le générateur de faisceau laser, les moyens de comptage, l'étalon de fréquence et le détecteur opto-électronique.

Il est particulièrement avantageux que l'objet soit réfléchissant pour le faisceau laser : de la sorte, les faisceaux laser renvoyés par ledit objet et ledit réflecteur fixe sont simplement les faisceaux réfléchis par ceux-ci.

Dans le cas où ledit objet dont on veut mesurer la distance ne serait pas réfléchissant, ou le serait de façon insuffisante, on peut prévoir un système focalisant ledit faisceau laser sur ledit objet pour en former l'image, qui serait alors utilisée pour la mesure de distance.

Les figures du dessin annexé feront bien comprendre comment l'invention peut être réalisée.

La figure 1 montre le schéma synoptique d'un exemple de réalisation du dispositif conforme à la présente invention.

Les figures 2a et 2b illustrent deux exemples de la modulation en fréquence du générateur laser du dispositif montré par la figure 1.

La figure 3 est un diagramme illustrant la transmission de l'étalon de fréquence, mis en oeuvre dans le

dispositif conforme à l'invention.

La figure 4 donne le schéma synoptique d'un mode de réalisation des moyens de comptage du dispositif selon l'invention.

5 Le dispositif de mesure de distance, conforme à l'invention et montré schématiquement par la figure 1, comporte un générateur laser à semi-conducteur 1, par exemple une diode laser, alimenté par un générateur de courant constant 2, lui-même cycliquement modulé par un
10 modulateur 3. Le générateur laser 1 engendre un faisceau laser monomode spatial et temporel 4. Par l'action du modulateur 3 pilotant le générateur de courant constant 2, la fréquence F du faisceau laser 4 est elle-même modulée.

15 Les figures 2a et 2b donnent, en fonction du temps t , deux exemples de modulation de la fréquence F du faisceau laser 4 : cette fréquence F peut varier en dents de scie symétriques (figure 2a) ou bien dissymétriques (figure 2b).

20 Un système optique 5 permet d'obtenir, à partir du faisceau laser 4 à la sortie du générateur 1, un faisceau laser collimaté 6, qui est adressé à un séparateur 7. A la sortie du séparateur 7, on obtient donc des faisceaux laser collimatés, portant respectivement les références 8
25 et 9.

Le faisceau laser 8 est couplé à une fibre optique 10, grâce à un objectif 11. La fibre optique 10 transmet

le faisceau laser 8 à un coupleur à fibre optique 12 qui lui-même transmet ledit faisceau laser 8 à une unité de mesure 13, à travers une fibre optique 14.

5 Dans l'unité de mesure 13, le faisceau 8 est collimaté par un objectif 15 et adressé à un séparateur 16, qui forme un faisceau laser 17 et un faisceau laser 18. Le faisceau laser 17 éclaire un réflecteur de référence 19, tandis que le faisceau laser 18 éclaire l'objet 20, dont on veut connaître la distance d à un plan 19', symétrique
10 du réflecteur de référence 19 par rapport au réflecteur de référence 19.

Le réflecteur de référence 19 et l'objet 20 réfléchissent sur eux-mêmes respectivement les faisceaux laser 17 et 18, qui sont à nouveau couplés à la fibre optique
15 14 par l'objectif 15. Ces faisceaux laser réfléchis 17 et 18, conduits par ladite fibre optique 14 au coupleur 12, traversent celui-ci et transitent vers un détecteur opto-électronique 21, à travers une fibre optique mono-mode 22.

20 Le détecteur 21 reçoit donc les deux signaux réfléchis 17 et 18 avec un décalage Δt , qui correspond au temps que met le faisceau 18 à parcourir deux fois la distance d à mesurer. Si c est la vitesse de la lumière et n_0 l'indice de réfraction du milieu compris entre
25 l'objet dont on veut mesurer la distance et l'appareil de mesure, on a bien évidemment

$$\Delta t = \frac{2d n_0}{c}$$

Ainsi, lorsque la fréquence F du générateur est modulée, le détecteur 21 délivre, de façon connue, un signal électrique de battement $B(F)$ de la forme

$$B(F) = A + B \cos (2 \pi F \Delta t)$$

5 soit $B(F) = A + B \cos \left(\frac{4 \pi F d n_0}{c} \right)$,

dans laquelle A et B sont des constantes dépendant des puissances respectives des deux signaux réfléchis 17 et 18. Si la fréquence du générateur laser 1 varie de ΔF (voir les figures 2a et 2b sur lesquelles on a supposé
10 que ΔF correspond à la durée totale d'un cycle de modulation) et si N est le nombre d'oscillations du signal de battement pendant la durée de cette variation ΔF de fréquence, on sait qu'alors la distance d est donnée par l'expression :

15 $d = \frac{cN}{2 \Delta F n_0}$

Dans cette expression, le nombre N d'oscillations du signal de battement peut être fourni directement par un compteur 23 relié au détecteur et sa détermination ne soulève pas de difficultés.

20 En revanche, la détermination précise de ΔF est délicate. En effet, comme il a été mentionné ci-dessus, la fréquence du générateur laser 1 est fortement dépendante de la température, de sorte que ΔF fluctue également en fonction de la température.

25 Pour pouvoir s'affranchir des fluctuations de ΔF , selon l'invention on prévoit un dispositif étalon de fréquence 24, auquel est adressé le faisceau laser collimaté

9, provenant du séparateur 7. Ce dispositif étalon de fréquence 24 comporte (dans l'exemple représenté) un étalon de fréquence 25 du type FABRY-PEROT (ou d'un dispositif ayant un fonctionnement identique) recevant le faisceau laser 9, ainsi qu'un détecteur opto-électronique 26 recevant le faisceau S transmis par l'étalon de fréquence 25 et commandant le compteur 23, par la liaison 27.

La caractéristique de transmission de l'étalon 25 (étalon de FABRY-PEROT) est une fonction de la fréquence F du laser et son allure est schématisée sur la figure 3. Cette caractéristique de transmission, presque toujours quasi nulle, passe par des maxima étroits pour certaines fréquences définissant des pics de transmission 28.

15 L'écart de fréquence Δf entre deux pics 28 successifs est une caractéristique de l'étalon 25. Le détecteur opto-électronique 26 reçoit le faisceau S transmis par l'étalon 25 recevant le faisceau 9 et délivre un signal électrique proportionnel audit signal S. Le balayage en fréquence du laser décrit une plage ΔF suffisante pour que

20 le signal du détecteur 26 contienne au moins deux pics 28. Ces pics sont utilisés pour synchroniser le début, puis la fin du comptage par le compteur 23. L'écart en fréquence Δf sur lequel est compté le nombre N d'oscillations du signal de battement est ainsi fixé précisément

25 de manière stable. Le comptage de N peut être effectué avec une précision de l'ordre de 10^{-2} à 10^{-3} périodes par

le compteur 23.

Le compteur 23 peut être un fréquencesmètre commandable de type connu. Ci-après, en regard de la figure 4, on décrit un mode de réalisation particulier du compteur 23.

5 Celui-ci est constitué de deux générateurs de top G1 et G2, de quatre compteurs C1, C2, C3 et C4, d'une mémoire M et d'une source d'impulsions à haute fréquence I.

10 Le générateur G1 envoie un signal de top à chaque fois qu'il reçoit un pic (correspondant à un pic 28) émis par le détecteur 26.

Le générateur G2 envoie un top à chaque fois que le signal de battement passe par un zéro.

15 Les compteurs C1, C2, C3 comptent les impulsions délivrées par la source I. Le compteur C4 compte les impulsions engendrées par le générateur G2.

La mémoire M stocke la valeur du compteur C2 à chaque fois que celui-ci est remis à zéro.

Le comptage s'effectue de la manière suivante :

- au premier top du générateur G1, les quatre compteurs
- 20 C1 à C4 sont démarrés,
- au premier top du générateur G2, le compteur C1 est arrêté et les compteurs C2 et C3 sont remis à zéro,
- à chaque top suivant du générateur G2, les compteurs C2 et C3 sont remis à zéro,
- 25 - au deuxième top du générateur G1, les compteurs C2, C3 et C4 sont arrêtés, lus et remis à zéro.

Le compteur C1 donne alors le nombre $n + 1$ d'impulsions

de la source I émises entre le top de départ et le premier passage à zéro du signal de battement.

Le compteur C3 indique le nombre n_3 d'impulsions de la source I émises entre le dernier passage à zéro du signal de battement et le top d'arrêt de comptage.

Le compteur C4 donne le nombre N_b de périodes entières du signal de battement.

La mémoire M recevant la sortie du compteur C2 permet de déterminer le nombre n_b moyen d'impulsions de la source I émises pendant la durée d'une période du signal de battement.

Le nombre total N de périodes du signal de battement est alors donné par :

$$N = \frac{n_1}{n_b} + N_b + \frac{n_3}{n_b}$$

Pour obtenir ce nombre N , on transmet n_1 , n_b , n_3 et N_b à des moyens de calcul 29 capables d'effectuer l'opération précédente. Les moyens de comptage 23 délivrent donc la valeur N à la sortie 30.

A partir de cette valeur N , il est facile de calculer d , puisque l'on connaît Δf qui est une caractéristique connue de l'étalon de fréquence 25, par la formule

$$d = \frac{cN}{2\Delta f n_0}$$

Bien entendu, le dispositif conforme à l'invention peut comporter de plus un calculateur (par exemple constitué par les moyens de calcul 29) donnant directement la valeur d .

Eventuellement, pendant la mesure de distance, on

2629197

12

peut mesurer la pression et la température, afin de tenir
compte des variations de no et de connaître celui-ci avec
précision.

REVENDICATIONS

1 - Procédé pour la mesure de la distance d'un objet,
selon lequel on éclaire simultanément ledit objet (20) et
un réflecteur fixe (19) au moyen d'un faisceau laser (6)
modulé en fréquence et on superpose les faisceaux laser
renvoyés par ledit objet et ledit réflecteur fixe afin
d'engendrer une onde de battement dont on compte les
oscillations (en 23) pour une variation déterminée de la
fréquence dudit faisceau laser, après quoi on calcule
ladite distance à partir du nombre desdites oscillations
de battement et de ladite variation de fréquence,
caractérisé en ce que l'on adresse ledit faisceau laser
modulé en fréquence à un dispositif étalon de fréquence
(24) qui définit avec précision un intervalle de fréquence
et en ce que, pour le calcul de ladite distance, on uti-
lise la variation de fréquence du faisceau laser corres-
pondant audit intervalle et le nombre des oscillations
de battement engendrées lorsque la fréquence du faisceau
laser décrit ledit intervalle.

2 - Dispositif pour la mesure de la distance d'un objet
destiné à mettre en oeuvre le procédé de la revendication
1 et comportant un générateur de faisceau laser modulé en
fréquence (1, 2, 3), des moyens (10,11,12,14,15,16) pour
éclairer simultanément ledit objet (20) et un réflecteur
fixe (19) par ledit faisceau laser modulé en fréquence,
des moyens (16,15,14,12,22) pour superposer les faisceaux
laser renvoyés par ledit objet et ledit réflecteur fixe

et pour engendrer une onde de battement, et des moyens (21,23) de comptage des oscillations de ladite onde de battement,

5 caractérisé en ce qu'il comporte un dispositif étalon de fréquence (24) et en ce que lesdits moyens de comptage des oscillations de l'onde de battement sont commandés par le signal issu dudit dispositif étalon.

3 - Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que ledit dispositif étalon de fréquence
10 ce comporte un étalon de FABRY-PEROT ou un dispositif à propriété semblable.

4 - Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que lesdits moyens de comptage comportent un fréquencemètre commandable (23).

15 5 - Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que lesdits moyens de comptage comportent la combinaison de deux générateurs de top (G1, G2), de quatre compteurs (C1 à C4), d'une mémoire (M) et d'une source d'impulsions à haute fréquence (I), telle que les-
20 dits générateurs de top (G1 et G2) reçoivent respectivement le signal dudit dispositif étalon de fréquence (24) et un signal électrique représentatif de ladite onde de battement et commandent lesdits compteurs (C1 à C4) et que ladite source d'impulsions (I) est reliée à trois
25 desdits compteurs et ladite mémoire (M) à l'un d'entre eux, de façon que ladite combinaison délivre le nombre n1 d'impulsions de la source (I) émises entre le premier pic

émis par ledit dispositif étalon de fréquence (24) et le premier passage par zéro dudit signal électrique de battement, le nombre n_3 desdites impulsions émises entre le dernier passage par zéro dudit signal de battement et le
5 dernier pic émis par ledit dispositif étalon de fréquence (24), le nombre N_b de périodes entières du signal de battement et le nombre moyen n_b des impulsions de ladite source émises pendant la durée d'une période dudit signal de battement, lesdits moyens de comptage permettant de
10 plus de calculer le nombre :

$$N = \frac{n_1}{n_b} + N_b + \frac{n_3}{n_b}$$

6 - Dispositif selon l'une quelconque des revendications 2 à 5,

caractérisé en ce que, au moins en partie, le transport
15 du faisceau laser est obtenu par l'intermédiaire de fibres optiques.

Fig. 1

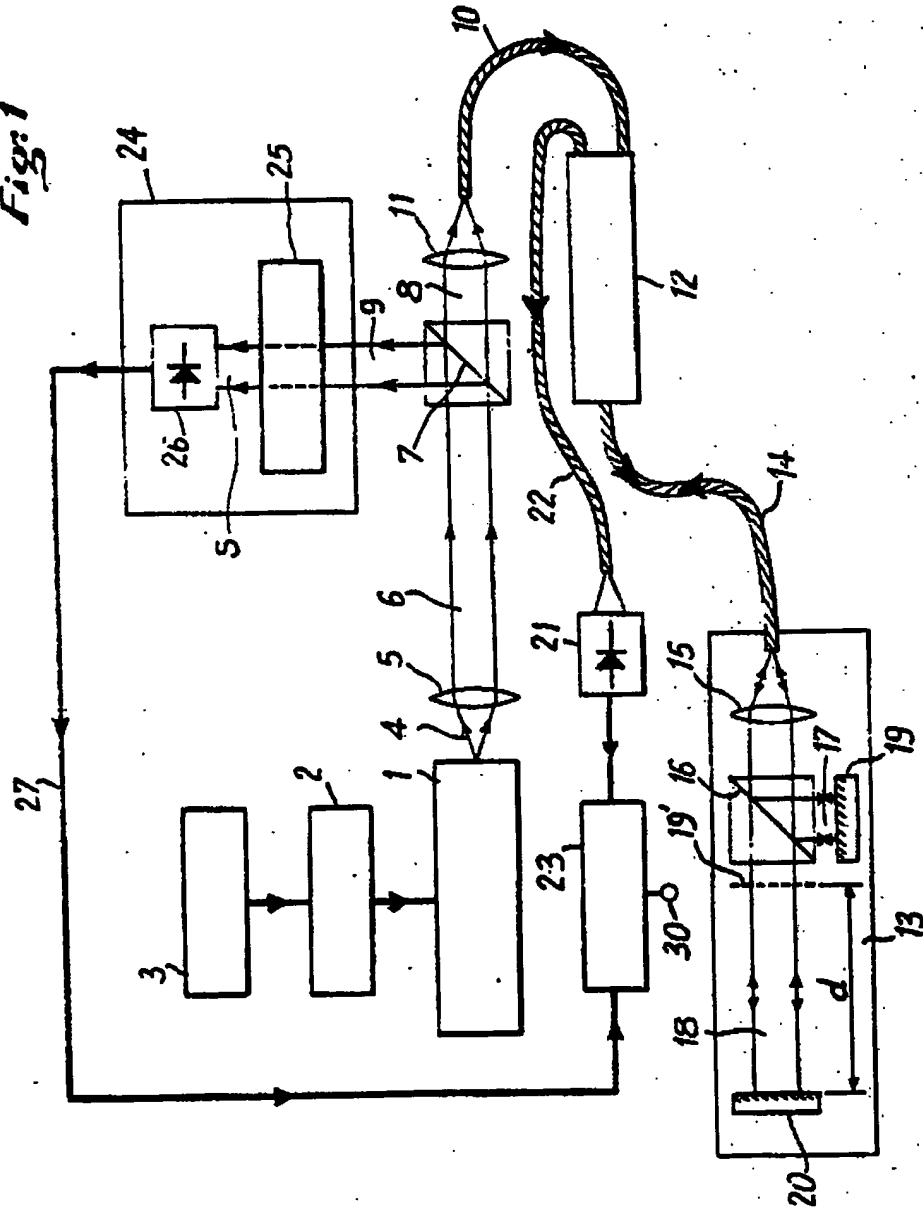


Fig. 2a

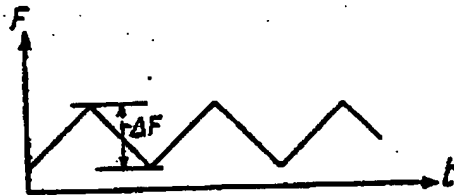


Fig. 2b



Fig. 3

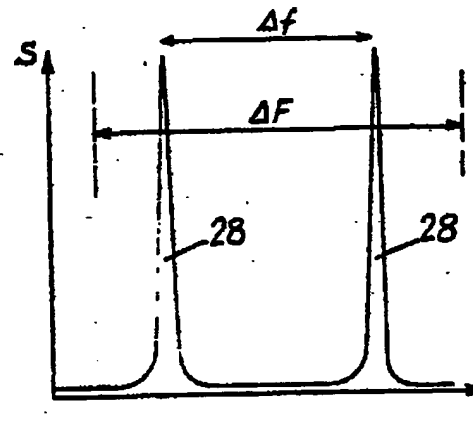
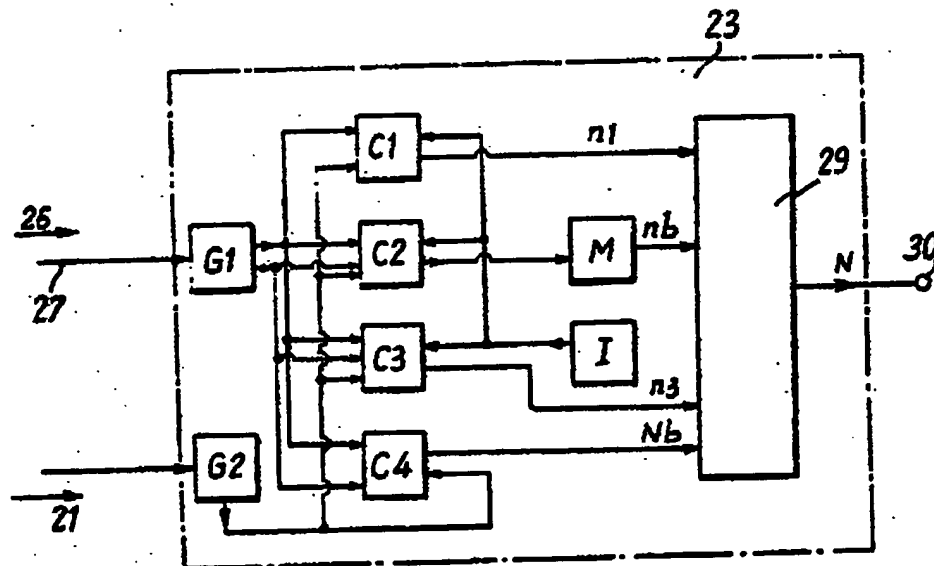


Fig. 4



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☒ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.